



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT

EIDGENÖSSISCHES AMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

G

Internationale Klassifikation: G 05 d 23/19
F 28 f 27/00

Gesuchsnummer: 2382/70

Anmeldungsdatum: 19. Februar 1970, 17 Uhr

Patent erteilt: 15. März 1972

Patentschrift veröffentlicht: 28. April 1972

HAUPTPATENT

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft, Winterthur

Verfahren und Einrichtung zum Regeln der Austrittstemperatur eines Wärmeaustauscher durchströmenden Mediums

Dr. Ing. Dilip Kumar Mukherjee, Zürich, ist als Erfinder genannt worden

1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Regeln der Austrittstemperatur eines ersten, einen Wärmeaustauscher durchströmenden Mediums auf einen sich zeitlich nach einem Programm ändernden Sollwert, indem in einer ersten Regelstufe ein dem Unterschied zwischen dem Ist-Wert und dem Sollwert der Austrittstemperatur des ersten Mediums entsprechendes erstes Ausgangssignal gebildet wird, dem seinerseits in einer zweiten, der ersten in Kaskade nachgeschalteten Regelstufe ein der Temperatur des zweiten, als Wärme- bzw. Kälteträger dienenden Mediums bei dessen Eintritt in den Wärmeaustauscher entsprechendes Signal überlagert wird, wobei ein Steuersignal für die Regelung der dem Wärmeaustauscher frisch zugeführten Menge des zweiten Mediums entsteht.

Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine Regeleinrichtung zum Durchführen des erfindungsgemässen Verfahrens.

In verschiedenen Gebieten der Technik stellt sich die Aufgabe, eine physikalische Grösse, beispielsweise einen Druck oder eine Geschwindigkeit, insbesondere aber eine Temperatur möglichst rasch und genau nach einem vorgeesehenen zeitlichen Verlauf zu verändern und den Einfluss der dem betrachteten System innewohnenden, verzögernden Faktoren wie Trägheitsmoment, Masse, Wärmekapazität, Reibung und dergleichen auf ein Minimum zu reduzieren. Ein äusserst einfaches Regelverfahren besteht darin, die Differenz zwischen Sollwert und Ist-Wert zu benutzen, um direkt die Stellgrösse zur Betätigung des Regelorgans zu bilden. Bei geringen Abweichungen zwischen Sollwert und Ist-Wert und der Verwendung proportionaler Regelung ist dann die Stellgrösse jedoch nur klein. Die Regelung erfolgt verhältnismässig langsam und es besteht in vielen Fällen die Gefahr unerwünschter Pendelerscheinungen.

Um die Verhältnisse zu verbessern, ist es bekannt, beispielsweise integrierende oder Differentialregler zu verwenden, und in Kaskade mit der obenerwähnten, ersten Regelstufe eine zweite Regelstufe zu schalten, in der das in der ersten Stufe erhaltene Signal einem zweiten Signal überlagert wird, das einer zwischen dem Stellorgan und dem Messpunkt des geregelten Austritts-Ist-Wertes ent-

2

nommenen Regelgrösse - bei einem Wärmeaustauscher beispielsweise der Eintrittstemperatur des Wärmeträgers - entspricht. Durch eine solche Massnahme wird die Regelung bereits erheblich beschleunigt und stabilisiert.

5 Zweck der vorliegenden Erfindung ist es, einen Regelkreis zu schaffen, bei dem der Istwert der geregelten Grösse noch enger an den Sollwert gebunden ist, d. h. bei dem die rechnerisch ermittelte Regelabweichung verkleinert wird.

10 Die Erfindung besteht darin, dass der zweiten Regelstufe als Führungsgrösse ein aus dem Ausgangssignal der ersten Stufe und dem zusätzlich nochmals eingeführten Sollwert der Austrittstemperatur des geregelten Mediums gebildetes Signal eingegeben wird.

15 Eine weitere Verbesserung des Regelverhaltens kann ferner erreicht werden, indem in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung dem Signal für den Sollwert der Austrittstemperatur des ersten Mediums aus dem Wärmeaustauscher vor Einführung in die beiden Regelstufen zusätzlich ein dem Differentialquotienten des Sollwertes nach der Zeit entsprechendes Signal hinzugefügt wird. Dadurch wird das regeldynamische Verhalten des Regelkreises verbessert, indem die Regelschwingungsamplituden verkleinert werden und rascher abklingen.

25 Die verschiedenen Signale (Regelgrössen, Führungsgrössen, Stellgrössen) können in analoger oder digitaler Form vorliegen, je nach Aufbau der für die Messungen und die Regelstufe verwendeten Elemente.

Der rechnerische Nachweis der durch die Erfindung 30 erzielten Verbesserung des Regelverhaltens folgt nachstehend in der ausführlicheren Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der zugehörigen Zeichnungen.

Es zeigen:

Fig. 1 die schematische Darstellung eines mit dem erfindungsgemässen Regelkreis ausgestatteten Wärmeaustauschers

Fig. 2 ein Beispiel für den zeitlichen Verlauf des Sollwertes der zu regelnden Austrittstemperatur

Fig. 3 ein Schema des bekannten, aus zwei in Kaskade 40 geschalteten Regelstufen bestehenden Regelkreises,

Fig. 4 ein analog zu Fig. 3 angeordnetes Schema des

erfindungsgemässen Regelkreises.

Im Schema nach Fig. 1 ist die Temperaturmessenrichtung für die Austrittstemperatur T_s des ersten Mediums A und diejenige für die Eintrittstemperatur T_e des zweiten, als Wärme- bzw. Kälte-träger dienenden Mediums B in den Wärmeaustauscher, sowie der Sollwertgeber T_s für das den zeitlichen Verlauf des Sollwerts T_s bestimmende Signal ersichtlich.

Dieses Sollwertsignal, wie es beispielsweise in Fig. 2 in Funktion der Zeit t angedeutet ist, kann etwa den Temperaturverlauf in einer Prüfeinrichtung darstellen, in der ein Prüfling von Zimmertemperatur auf eine höhere Arbeitstemperatur T_{s1} erwärmt wird, in der er während einer bestimmten Zeit verbleibt, um anschliessend auf eine niedrigere Temperatur T_{s2} abgekühlt und später wieder auf Zimmertemperatur erwärmt zu werden. Nach einer Zeitdauer D beginnt der Temperaturzyklus aufs neue.

Fig. 1 zeigt - in ausgezogenen Linien gezeichnet - ferner die beiden Regelstufen R_1, R_2 , in denen zunächst die Regelgrösse (Istwert T_s) mit der Führungsgrösse (Sollwert T_s) zu einer der Differenz $(T_s - T_a)$ entsprechenden Ausgangsgrösse r_1 kombiniert wird, die anschliessend als neue Führungsgrösse dem Signal der Eintrittstemperatur T_e des zweiten Mediums B in den Wärmeaustauscher W überlagert wird. Die im wesentlichen der Differenz $(r_1 - T_e)$ entsprechende Ausgangsgrösse r_2 der zweiten Regelstufe R_2 dient dem Stellorgan G, nämlich dem Regelventil für die dem Wärmeaustauscher frisch zugeführte Menge M' des zweiten Mediums B, als Stellgrösse. Eine Umlaufpumpe P dient dazu, im Wärmeaustauscher primärseitig einen annähernd konstanten Durchfluss in einem geschlossenen, durch die Pumpe P, die Primärseite des Wärmeaustauschers W und ein Bypassventil By gebildeten Kreislauf aufrechtzuerhalten. Die dem Wärmeaustauscher zugeführte Wärme- bzw. Kältemenge ist somit im wesentlichen durch den geregelten Mengenzustrom M' , dessen Temperatur und dessen spezifische Wärme bestimmt.

Sekundärseitig durchströmt ein Mengenfluss M' des ersten Mediums A den Wärmeaustauscher W, dessen Austrittstemperatur T_a die zu regelnde Grösse darstellt.

Der soeben beschriebene, in der Fig. 1 in ausgezogenen Linien angedeutete Regelkreis entspricht der bereits bekannten Kaskadenschaltung. Mit gestrichelten Linien sind die erfindungsgemässen, zusätzlichen Elemente eingezeichnet, nämlich ein zwischen die beiden Regelstufen eingeschaltetes Überlagerungsglied U_e und die den Sollwert vom Sollwertgeber T_s zum Überlagerungsglied U_e als Führungsgrösse zuleitende Verbindung. Anstelle der Ausgangsgrösse r_1 der ersten Regelstufe, die statt dem Regler R_2 nunmehr als Regelgrösse dem Überlagerungsglied U_e zugeführt wird, tritt die Ausgangsgrösse u des letzteren.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann das Sollwertsignal T_s zwischen dem Sollwertgeber und der Regelkaskade R_1, U_e, R_2 über ein zusätzlich eingeschaltetes Proportional-Differentialglied (R) geführt sein.

Die durch die Erfindung erzielten Verbesserungen des Regelverhaltens ergeben sich aus dem Vergleich der sich nach einer Einschwingperiode einstellenden Regelabweichungen, d. h. der im Betrieb zwischen Ist- und Sollwert definitiv auftretenden Unterschiede. Je kleiner die sich einstellende Regelabweichung ist, desto straffer folgt der Istwert dem Sollwert.

Bezeichnet man der Einfachheit halber die Transferfunktionen der beiden Regelstufen mit den gleichen Referenzbuchstaben wie das betreffende Element, d. h. mit R_1 und R_2 , diejenigen des Regelorgans mit G und schliesslich die des Wärmeaustauschers mit W, so kann die Regelabweichung der Kaskadenschaltung nach Fig. 3 aus dem fol-

genden System von 3 Gleichungen errechnet werden.

$$\begin{aligned} (1) \quad & (T_s - T_a) R_1 = r_1 \text{ (Regelstufe 1)} \\ (2) \quad & (r_1 - T_e) R_2 G = T_e \text{ (Regelstufe 2)} \\ (3) \quad & T_e \cdot W = T_a \text{ (Wärmeaustauscher)} \end{aligned}$$

wobei die Regler R_1, R_2 integrierenden Charakter aufweisen (PI = Regler), d. h. der mathematischen Form

$$(4) \quad R_1 = A_1 \left(1 + \frac{1}{t_1 s}\right)$$

$$(5) \quad R_2 = A_2 \left(1 + \frac{1}{t_2 s}\right)$$

entsprechen, worin A_1, A_2 Übertragungskonstanten, t_1 und t_2 Zeitkonstanten und s die Laplace-Variable darstellen. Ferner bedeuten

$$\begin{aligned} T_s &= \text{Sollwert} \\ T_a &= \text{Istwert} \\ r_1 &= \text{Ausgangsgrösse der 1. Regelstufe} \\ T_e &= \text{Eintrittstemperatur des Mediums B} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} T_s = \text{Sollwert} \\ T_a = \text{Istwert} \end{array} \right\} \text{ der Austrittstemperatur des Mediums A.}$$

Aus dem Gleichungssystem (1) bis (3) errechnet sich die Regelabweichung der Kaskadenschaltung nach Fig. 3

$$(6) \quad (T_s - T_a)_{\text{Fig. 3}} = T_s \frac{1 + R_2 G}{1 + R_2 G + R_1 R_2 G W} \quad \text{oder}$$

$$(7) \quad (T_s - T_a)_{\text{Fig. 3}} =$$

$$T_s \frac{t_1 t_2 s^2 + A_2 (1 + t_2 s) t_1 s G}{t_1 t_2 s^2 + A_2 (1 + t_2 s) t_1 s G + A_1 A_2 (1 + t_1 s) (1 + t_2 s) G W}$$

Die Grösse der Regelabweichung, die sich nach Beendigung der Einschwingvorgänge einstellt, ergibt sich in bekannter Weise nach Laplace, indem man rechts den Soll-

$$\text{wert } T_s \text{ durch die Grösse } \frac{h}{s^2}$$

ersetzt (h = Steigung der T_s -Kurve in Funktion der Zeit), die rechte Seite der Gleichung mit s multipliziert und s gegen Null abnehmen lässt:

$$(8) \quad E_{\infty} = s(T_s - T_a)_{s \rightarrow 0} =$$

$$\left[s \frac{h}{s^2} \frac{t_1 t_2 s^2 + A_2 (1 + t_2 s) t_1 s G}{t_1 t_2 s^2 + A_2 (1 + t_2 s) t_1 s G + A_1 A_2 (1 + t_1 s) (1 + t_2 s) G W} \right]_{s \rightarrow 0}$$

$$(9) \quad E_{\infty (\text{Fig. 3})} + h \frac{t_1}{A_1 W}$$

W gilt für den stationären Zustand des ganzen Systems. Analog dazu kann für die erfindungsgemässe Schaltung nach Fig. 4 folgendes Gleichungssystem aufgestellt werden:

$$\begin{aligned} (10) \quad & (T_s - T_a) R_1 + T_s = u \\ (11) \quad & (u - T_e) R_2 G = T_e \\ (12) \quad & T_e \cdot W = T_a \end{aligned}$$

was zur Regelabweichung der erfindungsgemässen Schaltung nach Fig. 4 führt.

$$(13) \quad (T_s - T_a)_{\text{Fig. 4}} = T_s \frac{1 + R_2 G (1 - W)}{1 + R_2 G + R_1 R_2 G W}$$

Vergleicht man die Gleichungen (13) und (6), so ist ohne weiteres ersichtlich, dass die bleibende Regelabweichung nach Beendigung des Einschwingvorganges für die Schaltung nach Fig. 4 lautet:

$$(14) \quad E_{\infty(\text{Fig. 4})} = h \frac{t_1}{A_1} \frac{1-W}{W}$$

Das Verhältnis der beiden bleibenden Regelabweichungen ergibt sich durch die Division der Gleichung (14) durch Gleichung (9).

$$(15) \quad \frac{(14)}{(9)} = \frac{E_{\infty(\text{Fig. 4})}}{E_{\infty(\text{Fig. 3})}} = 1 - W$$

Für beide Schaltungen gilt die gleiche Transferfunktion W für den Wärmeaustauscher. W gilt für den stationären Zustand und hat den Charakter eines Wirkungsgrades, liegt also zwischen 0 und 1. Je besser der Wirkungsgrad des Wärmeaustauschers ist, desto mehr tendiert dessen Transferfunktion gegen 1, ohne diesen Wert völlig zu erreichen, d. h.:

$$0 < W \xrightarrow{\text{Lim}} 1$$

und die Gleichung (15) nimmt die Form an

$$(16) \quad \frac{E_{\infty(\text{Fig. 4})}}{E_{\infty(\text{Fig. 3})}} \xrightarrow{\text{Lim}} 0$$

d. h. im erfindungsgemässen Regelsystem nach Fig. 4 tritt, bei gleichen Übertragungsfunktionen der Einzelelemente, eine sehr viel kleinere Regelabweichung auf als im bekannten System nach Fig. 3.

Wird schliesslich das Sollwertsignal T_s durch ein Proportional-Differentialglied R geführt, d. h. $r = RT_s$, worin

$$R = 1 + A \frac{ts}{1 + ts}$$

so kann die Gleichung (13) wie folgt angeschrieben werden:

$$(17) \quad r - T_a = r \frac{1 + R_2 G (1 - W)}{1 + R_2 G + R_1 R_2 G W}$$

(18)

$$= RT_s - T_a = (R - 1)T_s + T_s - T_a = RT_s \frac{1 + R_2 G - R_2 G W}{1 + R_2 G + R_1 R_2 G W}$$

Daraus errechnet sich die Regelabweichung für den Regelkreis nach Fig. 4* mit eingefügtem PD = Regler R :

(19)

$$(T_s - T_a)_{(\text{Fig. 4}^*)} = T_s \frac{1 + R_2 G + R_1 R_2 G W - R R_2 G W (1 + R_1)}{1 + R_2 G + R_1 R_2 G W}$$

Durch Einsetzen von R , R_1 und R_2 erhält man analog zu Gleichung (9) bzw. (14) die bleibende Regelabweichung für die Schaltung nach Fig. 4*, d. h. mit eingefügtem PD-Glied R :

$$(20) \quad E_{\infty(\text{Fig. 4}^*)} = \left[\frac{t_1}{A_1} \cdot \frac{1-W}{W} - A \cdot t \right] \cdot h$$

Aus dieser Formel ist ersichtlich, dass die bleibende Regelabweichung durch eine geeignete Wahl der Konstanten A und t , d. h. des Übertragungsmasses und der Zeitkonstanten des PD-Gliedes R , theoretisch beliebig klein gehalten werden kann, wenn nämlich

$$(21) \quad A \cdot t \xrightarrow{\text{Lim}} \frac{t_1}{A_1} \cdot \frac{1-W}{W}$$

PATENTANSPRUCH I

Verfahren zum Regeln der Austrittstemperatur (T_a) eines ersten, einen Wärmeaustauscher (W) durchströmenden Mediums (A) auf einen sich zeitlich nach einem Programm ändernden Sollwert (T_s), indem in einer ersten Regelstufe (R_1) ein dem Unterschied zwischen dem Istwert (T_a) und dem Sollwert (T_s) der Austrittstemperatur des ersten Mediums (A) entsprechendes erstes Ausgangssignal (r_1) gebildet wird, dem seinerseits in einer zweiten, der ersten (R_1) in Kaskade nachgeschalteten Regelstufe (R_2) ein der Temperatur des zweiten, als Wärme- bzw. Kälte-träger dienenden Mediums (B) bei dessen Eintritt in den Wärmeaustauscher (W) entsprechendes Signal (T_2) überlagert wird, wobei ein Steuersignal (r_2) für die Regelung der dem Wärmeaustauscher (W) frisch zugeführten Menge (M) des zweiten Mediums (B) entsteht, dadurch gekennzeichnet, dass der zweiten Regelstufe (R_2) als Führungsgrösse (u) ein aus dem Ausgangssignal (r_1) der ersten Stufe (R_1) und dem zusätzlich nochmals eingeführten Sollwert (T_s) der Austrittstemperatur des geregelten Mediums (A) gebildetes Signal eingegeben wird.

UNTERANSPRUCH 1

Verfahren nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, dass dem Signal für den Sollwert (T_s) der Austrittstemperatur des ersten Mediums (A) aus dem Wärmeaustauscher vor Einführung in die beiden Regelstufen (R_1 , R_2) zusätzlich ein dem Differentialquotienten des Sollwerts (T_s) nach der Zeit entsprechendes Signal hinzugefügt wird.

PATENTANSPRUCH II

Regeleinrichtung zum Durchführen des Verfahrens nach Patentanspruch I, mit je einer Temperaturmessrichtung für die Austrittstemperatur (T_a) des ersten und die Eintrittstemperatur (T_2) des zweiten Mediums, einem Sollwertgeber (T_s) sowie mindestens zwei in Kaskade geschalteten Reglern (R_1 , R_2) und einem von letzteren betätigten Stellorgan (G) zum Regeln der dem Wärmeaustauscher (W) frisch zugeführten Menge (M) des zweiten Mediums (B), gekennzeichnet dadurch, dass zwischen den beiden Reglern (R_1 , R_2) ein Überlagerungsglied (U) eingeschaltet ist, in dem der Sollwert (T_s) der Ausgangstemperatur des Mediums (A) dem Ausgangssignal (r_1) des ersten Reglers (R_1) überlagert wird.

UNTERANSPRUCH 2

Regeleinrichtung nach Patentanspruch II zur Durchführung des Verfahrens nach Unteranspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass zwischen Sollwertgeber (T_s) und Reglerkaskade (R_1 , R_2) ein Proportional-Differential-Glied (R) zur Umformung des Sollwertsignals eingeschaltet ist.

Gebrüder Sulzer AG

Fig. 1

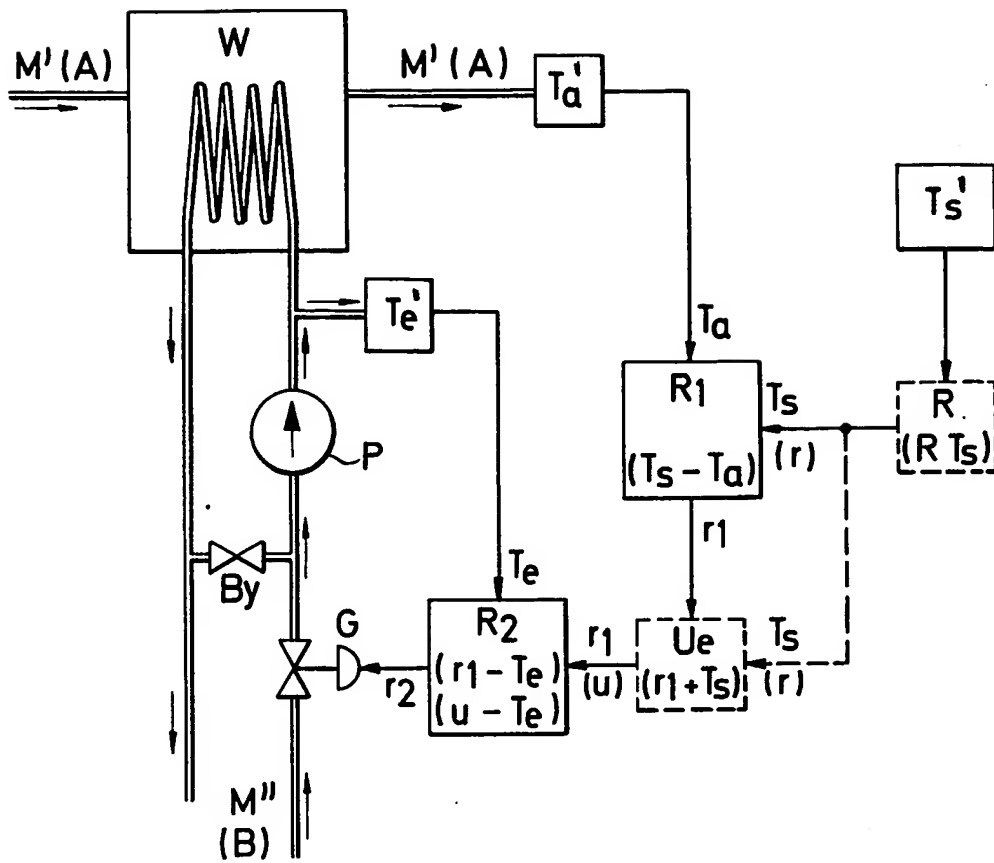


Fig. 2

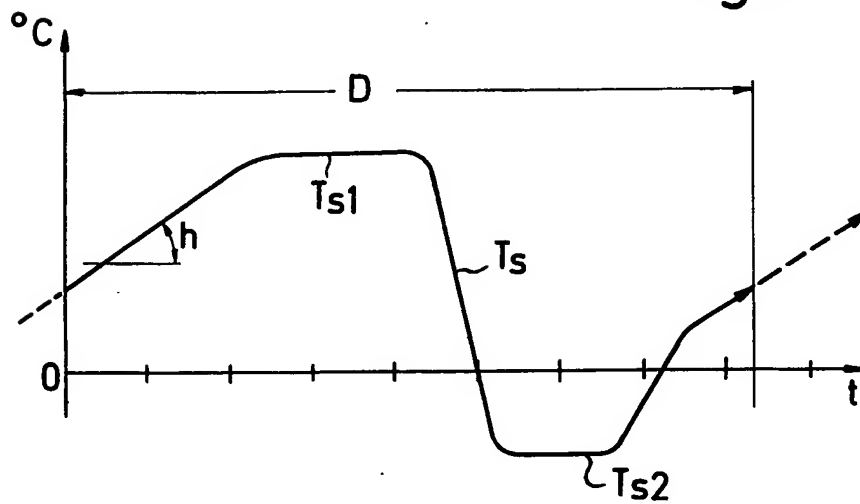


Fig. 3

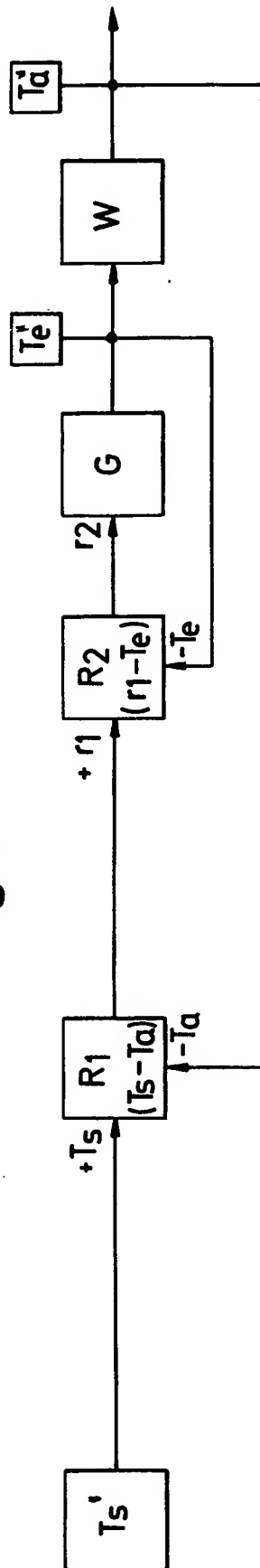


Fig. 4

